

河川環境管理のための生物群集分析に関する研究

加藤 和弘*
武内 和彦**

Ecological Community Analysis for the Establishment of River Environmental Management Planning

Kazuhiro KATOH
Kazuhiko TAKEUCHI

摘要：快適な水辺の創造のための環境管理では、水域の生物群集を正当に評価し、これを健全に維持するための配慮を加えることが重要である。本研究では、生物指標および生物群集情報の多変量解析により、水辺環境の管理指針を得るための方法を検討した。生物指標は指標生物および算定手法によって性質が異なるので、その組合せにより評価対象水域の環境の異なった側面を評価できる。多変量解析により、対象水域の生物群集が影響を受けている環境条件を知ることができる。これらの結果を地図情報と対応させて、水系を生態的に均質な部分に分割し、環境管理の基本単位とすることも考えられる。以上の手法について、東京都の河川への適用例とともに報告する。

1. はじめに

地域環境の管理計画策定に際し、河川流域をその対象とすることがある。流域は水系によって統合された空間であり、生態系として一つのまとまりをなすものであるため、それを計画の単位として取り扱うことには大きな意義があることを、李ほか(1989)⁹⁾が論じている。ここでは同時に流域環境分析の方法も述べられているが、陸域環境が主たる対象であって、水域環境の議論が欠けている。

現実には、河川流域を計画対象とする場合には、河川そのものの環境改善が計画の目的に含まれることが予想される。そのためには、河川への影響に配慮した陸域環境の計画が望ましいが、その前提として河川環境の現状評価が適切になされている必要がある。

河川環境は、通常水質によって評価されている。一方、地域環境の向上には「みず」と「みどり」の整備が重要であるといわれているが、その場合の「みず」には、単に物質としての水だけではなく、その場にふさわしい生物と、それらと触れ合うことのできる空間が必須である。このような視点から河川環境を分析し、評価する手法が必要である。

生物が対象となる調査には、通常相当の専門的な知識が必要であるが、幸い多くの地方自治体等で、河川の生物群集の調査が行われている^{9), 10)}。その成果は通常報告書として公表されているが、そのデータを用いて河川環境を環境管理計画に適した形で評価する方法を検討する

ことが、この論文の目的である。

2. 生物を用いた河川環境分析の現状

生物群集を分析することの意義は、ある程度の期間の環境状態が生物に与える影響の累積を反映すること、及び多くの項目にまたがる環境条件の複合的効果を示すこと、といわれる¹⁰⁾。また、身近な生物を利用することにより分析の結果が親しみやすいものとなることも指摘される¹¹⁾。

陸域環境の分析と評価においては、生物群集の状態が重視されている。前述の李ほか(1989)⁹⁾は現存植生を分析の対象としている。また「自然立地的土地利用計画」⁹⁾のように、植生とその成立に関わる自然環境条件から地域の土地利用指針を導出する手法も提案されている。

河川環境の分析と評価においても、生物群集を対象とすることはしばしば行われる。しかし、これまでの研究は水質をいかに評価するか集中し、生物群集が環境の様々な側面を反映することを生かした総合環境指標の出現が期待されている状況である^{9), 10)}。これは、陸域の植生のように、自然環境の基礎であると共に象徴でもあり、さらに多様な自然条件に対応して変化するという生物群が存在しないことに理由があるものと思われる。加えて、河川環境の悪化イコール水質汚濁という図式が浸透してしまったこと、植生のように巧妙な群集分類体系が構築されていないことも、背景にあるだろう。

このような状況を解決するために、筆者は複数の生物

* 東京大学教養学部 ** 東京大学農学部

群を利用した分析の実施と、多変量解析の利用を提案した⁶⁾。ここでは、それを具体化した手法をまず提案し、それを実際の事例により検証することにする。

3. 河川環境の分析で知るべきこと

環境の管理を通じて河川の環境の改善を図る場合、まず知りたいのは、現時点における環境の悪化が何によってもたらされているかである。それを知ることにより、環境改善のために何をすべきかが明らかになる。

次いで、現在の環境が何によって維持されているかを知る必要がある。特に生態系の保全を考える場合、生物の移動や住み分け、餌の外部からの供給なども考慮すべき場合がある。

これらを知るにあたって、さらには環境の管理にあたって、対象となる河川を適切に分割し、区分毎に問題の検討が可能ならば、作業は容易になる。

4. 分析方法の提示

ある地域の生態系において支配的な環境条件を知るための方法として、多変量解析による生物群集分析が利用できる。多変量解析を適用することで、生物群集が変動するパターンを明らかにすることが可能であり、そのパターンに対応する環境条件を明らかにすることにより、生物群集を支える、または変容させる環境条件を推定することができる、というのが分析の基本的な流れである。この点は陸域も河川も変わりがない。

但し、地域の環境管理を考える場合、ここで分析を終わらせることはできない。空間や河川を適切に区分するためには、地図情報として表現されている環境条件と、多変量解析によって明らかになった生態系にとって重要な環境条件とを、対応させる必要がある。

陸域の場合、多変量解析によらずとも、植生調査結果の植物社会学的な検討により、同じ目的を達成できる。しかし水域ではこのような群集分類体系が存在しないため、多変量解析の利用が欠かせない。

ところが多変量解析の場合、解析に用いたデータの中だけで議論が完結してしまう。一般的な基準、あるいは他地域の環境との比較は困難である。そこで、生物指標を利用する。

水域の場合、生物指標による環境評価の基本は、生物群集が健全な状態から水質汚

濁などの環境破壊によって消滅に至るまでの過程を整理しておき、調査対象水域の生物群集がその過程のどの段階に位置するかを知ることによって、水域の環境悪化の状態を推測することである。もちろん取り上げる生物群集の種類によって、評価できる環境条件は異なる。藻類はおもに水質、底生動物は水質及び川底の状態、魚類はさらに多くの条件の総合的な効果を評価できるはずである⁶⁾。そこで、この3つを同時に取り上げることで、環境評価と併せて環境のどの部分に問題があるかを検出することができると考えられる。さすれば、環境改善のための指針を得ることも可能であろう。

5. 事例への適用—東京都内河川の環境評価

東京都環境保全局刊行の資料¹⁰⁾を分析した。調査は1987年度であり、42地点において付着珪藻、底生動物、魚類及び主要な環境条件が調査されている。多変量解析としてはクラスター分析を用い、生物指数としては、最

表-1 分析に用いた生物指数及び解析手法

指数または手法	式または内容
SI	$SI = \sum (s_i \cdot r_i) / \sum r_i$ s_i : 種 i の汚濁耐性値、 r_i : 種 i の個体数 * 汚濁耐性値は、珪藻については Kobayashi と Mayama (1989) ¹¹⁾ に従い 1 点 (耐性小) ~ 4 点 (耐性大) を与え、底生動物については、森下 (1985) ¹²⁾ に示された ZM index の値が最大となる水質階級を利用して 0s の場合に 1 点、以下 β ms、 α ms、ps に対し 2、3、4 点を与えた。魚類については表 2。 * 対象となる生物が確認できなかった場合は 5 点とした。
BI	$BI = 2a + b$ a : 出現した非汚濁耐性種の数、 b : 出現した汚濁耐性種の数 * s_i が 3 以上の種は汚濁耐性ありと見なした。
クラスター分析	群平均法。田中ほか (1984) ¹³⁾ のプログラムを一部改変し利用。 類似度はパーセンテージ類似度 (PS) を用いた。 $PS = 2 \times \sum \min (X_{ij}, X_{ik}) / (\sum X_{ij} + \sum X_{ik})$ X_{ij} 、 X_{ik} : 地点 j 、 k における種 i の個体数

表-2 魚類の指標性の分類

グループ	魚種	スコア ^{*1}	汚濁耐性 ^{*2}
A	イワナ、ヤマメ、アマゴ、アブラハヤ、タカハヤ、カジカ、スナヤツメ、ホトケドジョウ、ギバチ	1	なし
B	ウグイ、ワタカ、タイリクバラタナゴ、カマツカ、アユ、ヤリタナゴ、シマドジョウ、ヨシノボリ、ニゴイ、ピリゴ	2.5	なし
C	オイカワ、タモロコ、モツゴ、コイ、フナ類、ドジョウ、ナマズ、カダヤシ、テラピア、ボラ、アベハゼ	4	あり

*1: SI の計算に用いる。*2: BI の計算に用いる。

も優れた指標とされる⁵⁾ PantleとBuckの汚濁指数を用い、魚類については環境の多様性を反映することを期待してBeckの生物指数を併用した(表1; 指数については森・内藤, 1986⁹⁾)。

魚類群集について生物指数を計算するに当たっては、君塚(1987)³⁾に収録された資料に基づき暫定的に表2のように魚種を分類した。但しこの状態では、汽水性の魚種の大半が中程度の汚濁耐性を持つとして評価され、その結果汽水域のSIが水質汚濁の程度によらず2.5前後になる可能性がある。また、清流と溪流の混同もみられる。このように、地理的要因と環境悪化の分離が明確でないことを、今後の研究で解決していく必要がある。

クラスター分析の結果、珪藻群集は水質汚濁および塩分濃度に対応する形で、清流域の群集(*Nitzschia palea*がほとんど出現しない群集)、中程度に汚濁した水域の群集(*Navicula subminuscula*, *Nitzschia amphibia*が優占する群集)、強度に汚濁した水域の群集(*Nitzschia palea*が優占する群集)および汽水域の群集(汽水性の種を伴う群集)に4分された。

底生動物群集は、汚濁の程度が弱い水域でみられたカゲロウ・トビケラ類を中心とした群集、強度の汚濁下で

みられたユスリカ類が優占する群集(底生動物が出現しない地点を含む)、および汽水性の種が混在する群集に3分された。

魚類群集はウグイが優占する群集、オイカワが優占する群集、ニゴイ・ハスが優占する群集、フナ類が優占する群集(魚類が出現しない地点を含む)、汽水性の魚種を伴う群集、の5つに分けられ、これは、水系の特性を含めた地形的条件と、水質汚濁、塩分濃度とに対応した。以上の分類を組み合わせることにより、42の調査地点を11のグループに分類できた。この結果を、地点分類に関連すると思われた環境条件と共に表3にまとめて示した。

ここに示した環境条件を分類のキーとして、水系区分体系(8区分)の構築を試みた(図1)。区分数が減っているのは、例数が少なかったグループ(④と⑨)および境界の不明瞭なグループ(⑥に対する⑧)を、それぞれ最もよく似た別のグループに統合したからである。

水系を区分する場合、実際に現地調査を行っていない部分も含めて区分を行う必要がある。従って、地図情報として入手可能な環境条件をキーとすることが望まれる。例えば、水質汚濁は水中の生物群集にとって最も重大な環境条件であるが、地図情報として水質汚濁に関する正確なデータが利用できる場合はほとんどない。そこで、水質情報に代えて土地利用情報や地形情報を利用することを試みることにした。

本研究では、塩分濃度を海岸までの流程に、水質汚濁を地形区分に、それぞれ対応させた。汽水域を海岸までの流程により推定することは常識的に考えやすい。江戸川に例外がみられたが、これはこの地点の直下に江戸川水門が存在することの影響かもしれない。水質汚濁は汚濁負荷と水量の比によって決まるが、前者は人口や産業の分布を通じて土地利用と相関し¹⁾、後者は一定の気候のもとでは土地利用(土地被覆)、地質及び地下水の動態により左右される¹⁾。土地利用は地形の制約を受け、地質は地形と関連がある²⁾。東京のように低地からその周辺の台地、さらに丘陵地へと開発が進んだ地域では、特にこの傾向が強い。例えば多摩川中流域においてこの傾向がみられる³⁾。また、武蔵野台地と多摩丘陵は異なる地下水脈に属する¹⁾。そこで、地形を指標として土地利用、地質、ならびに地下水の動態を一まとめにして扱うことが可能と考えた。もちろん、地形を指標とすることの普遍的な有効性は、今後さらに検討が必要である。

表-3 生物群集のクラスター分析結果及び、対応する環境条件

珪藻群集	底生動物群集	魚類群集	主な地点	環境条件(該当する地点数)					水系 ¹⁾		
				汽水 ²⁾	水深 ²⁾	強汚濁 ³⁾	中汚濁 ³⁾	山地 ³⁾		湾奥 ³⁾	総地点数
汽水型	汽水	欠 ⁶⁾	①葛西橋(荒川) ②阿国橋(隅田川)	5	5	0	5	0	5	5	荒3湾1 江1
	汽水	欠	③大師橋(多摩川) 浦安橋(江戸川)	2	2	0	2	0	0	2	江1多1
	汽水	欠	④太鼓橋(目黒川) 堀切橋(荒川)	4	1	3	1	0	3	4	荒1湾3
	汽水	欠	④富士見橋(内川)	1	0	1	0	0	0	1	湾1
	汽水	欠	⑤小台橋(隅田川) 豊石橋(石神井川)	0	4	6	0	0	-	6	荒5他1
	汽水	フナ ⁷⁾	⑥報恩橋(大栗川) 多摩川原橋	0	0	11	0	0	-	11	多8他1 荒2
	汽水	ハス	⑦飯塚橋(中川) 新葛飾橋(江戸川)	0	4	2	2	0	-	4	江4
	汽水	フナ	⑧高幡橋(浅川) 調布堰(多摩川)	0	0	3	0	0	-	3	多3
	汽水	ウグイ	⑨拝島橋(多摩川)	0	0	0	1	0	-	1	多1
	汽水	ウグイ	⑩多西橋(平井川) 東秋川橋(秋川)	0	0	0	0	0	-	3	多2荒1
	汽水	ウグイ	⑪和田橋(多摩川) 落合橋(成木川)	0	0	0	0	2	-	2	多1荒1

*1: 電気伝導度3000 $\mu\text{S}/\text{cm}$ 以上。*2: 水深1.5m以上。*3: 強汚濁はBOD 4ppm以上、中汚濁は2ppm以上。*4: 東京湾最奥部(江東区一品川区)の海域に流入する河川の汽水域。*5: 荒=荒川・隅田川水系、江=江戸川・中川水系、多=多摩川水系、湾=東京湾に流入する小河川(古川、目黒川、立会川、内川、呑川)、他=その他(鶴見川、境川)。*6: 5個体以下の記録のみの場合も群集なしと見なした。*7: 麻生橋(鶴見川)はオイカワ型、南浅川合流点(浅川)はウグイ型であるが、上流からの移動の影響が大きいと見なし、グループの細分化を避けるためにここに含めた。

まず、河口から流程12km以下の水域を汽水域と見なし、それをさらに河口の位置と河川の規模によって細分した。河口から12km以遠の水域は淡水域と見なし、このうち江戸川水系を、利根川水系と連結するために魚類の種組成が他と異なる水域として区分し、残りを、都市化の影響の見られない山地または大起伏の丘陵地内の水域と、それ以外に分けた。前者は溪流性の魚類の生息可能性を考慮して、山地の河川と大起伏丘陵地の河川に区分し、後者は武蔵野台地の河川と多摩丘陵の河川に分けた(図1)。地形区分は、国土庁作成の土地分類図に基づき判別した。この結果作成された水系区分図が図2である。

以上の作業により調査地点もまた8つの水系区分のいずれかに分けられた。その結果は、生物群集分析による地点分類とよく一致したことから(図1)、上に述べた水系区分が、少なくとも生物群集の調査地点の近傍においては妥当なものであったといえることができる。

区分ごとに、所属する調査地点での生物指数の値の平均値を算出して、各区分の水質(=珪藻群集のSI)、水底の状態(=底生動物群集のSI)、環境の総合的質(=魚類群集のSI)、および環境の多様性(=魚類群集のBI)を評価した結果を表4に示す。水深の大きな河川では底生動物群集の退行が起りやすいことが明らかにわかる。また、区分ⅢおよびⅣでは生物群集はほぼ壊滅的な状態であり、区分Ⅴもそれに近い状態にあることも示されている。

分析結果に基づいて各区分の環境の保全や管理のための施策を検討した。藻類群集の状態に比べて底生動物群集の状態が悪い場所では、特に川底において酸素の不足が起っているものと考えられるので、これに対処する

必要がある。魚相が特別な水系は、特徴的な魚種の供給源となっている水域との連結性が、生物群集の維持のために重要であると判断されることから、そのための配慮を必要とする。汽水域であるにもかかわらず汽水性の魚類が見られない場所では、隣接する海域の環境改善や、海域との連結性の改善が必要であろうと考えられる。これらのことをまとめた結果を、表4に示した。

6. まとめ及び今後の課題

ここで示した解析は、より簡便な調査法の結果に対しても基本的には適用可能である。但し、多変量解析を行う場合には、データの質の低下に対する対応が求められる。

本研究の意義は、河川の環境を分析・評価し、環境管理のために必要な情報を得る上で有効な、生物群集分析の方法を提示したこと、および、生物群集分析の結果を地図情報に対応させて、河川の生物群集の実態に即した水系の区分を行うことが可能であることを示したこと、といえる。しかし、今回の方法論はまだ水界に関連する部分を中心であり、今後これを水陸一体の分析手法に発展させていくことが望まれよう。また、分析の個々の部分についても、魚類群集の分析手法を中心に改善すべき点が残っている。さらに、分析に用いるデータとしてどのような形のものが見たいか、検討する必要がある。

文 献

- 1) 新井正, 新藤静夫, 市川新, 吉越昭久(1987): 都市の水文環境: pp263, 共立出版
- 2) 井手久登, 武内和彦(1985): 自然立地的土地利用計画: pp227, 東京大学出版会
- 3) 塚塚芳輝(1987): 生物による水質調査指標としての淡水魚類: 昭和61年度環境庁委託業務結果報告書, 49-107
- 4) 加藤和弘(1984): 小集水域生態系における人為の影響—三浦半島森戸川・下山川の場合—その1・流域の土地利用と河川の水質との関係: 日本水処理生物学会誌 20(1), 6-10
- 5) 加藤和弘(1988): 付着珪藻群集による生物指標の性質: 日本珪藻学会誌, 4, 81-88
- 6) 加藤和弘(1989): 生物に

表-4 水系区分ごとの河川環境管理指針

区分番号	生物指標による評価 ^{*1}			環境の特徴	指針	
	藻類	底生 ^{*2}	魚類 ^{*3}			
I	B	C	D	0	湾奥に位置している	海域の環境改善と海域との連絡性の向上
II	B	C	B	14	大型の河川の河口部	海域と一体の環境保全計画
III	C	D	D	1.0	湾奥の小河川汽水域	I+流量・水質・底質・流路形状の改善
IV	C	C	D	1.0	酸欠状態、深いかごく汚い	水質・底質・流路形状の改善、ばっ気
V	C	C	C	9.5	有機汚濁の進行、浅い	水質の改善
VI	B	D	B	9.3	利根川につながる、深い	IVに準じる。利根川との連絡を保つ
VII	A	A	C	16	中流域、魚類が若干退行か	水質の保全と流路の自然性の向上
VIII	A	A	B	12	上流域	自然環境全体の保全

*1: SIに関しては、A=1~2、B=2~3、C=3~4、D=4~5

*2: 底生動物。 *3: SI、BIの順。

- よる水環境評価について：環境科学会誌 2 (4), 301-310
- 7) Kobayasi, H. and S. Mayama (1989): Evaluation of river water quality by diatoms: Korean J. Phycol., 4, 121-133
- 8) 李東根, 恒川篤史, 武内和彦 (1989): 多摩川中流域における環境基礎情報の整備と環境構造の把握: 造園雑誌 52 (5), 288-293
- 9) 森保文, 内藤正明 (1986): 環境指標における生物指標の位置づけ及び生物指標と理化学的測定との対応: 国立公害研究所研究報告 88, 177-190
- 10) 森下郁子 (1985): 生物モニタリングの考え方: pp 218, 山海堂
- 11) 高橋康夫 (1984): 水生生物による水質の簡易調査について: 公害と対策 20 (12), 77-81
- 12) 田中豊, 垂水共之, 脇本和昌, 編 (1984): パソコン統計ハンドブックⅡ-多変量解析編: pp403, 共立出版
- 13) 東京都環境保全局水質保全部 (1989): 昭和62年度水生生物調査結果報告書: pp537
- 14) 渡辺仁治, 水野寿彦, 御勢久右衛門, 桜井義雄, 盛下勇 (1984): 水生生物による水質の簡易調査法-策定の理論的根拠-: 公害と対策 20 (12), 82-86

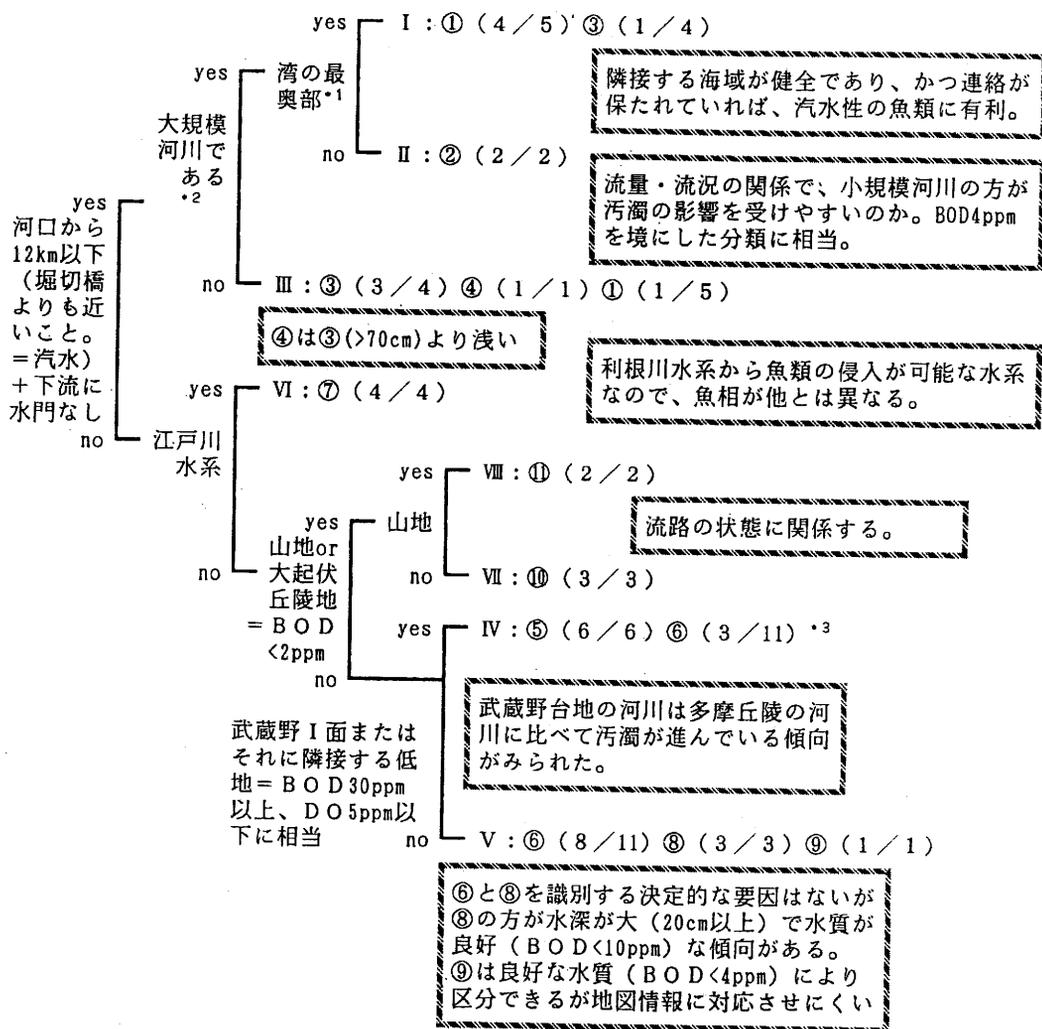


図-1 東京都内河川を対象とした水系区分体系

水系区分番号はアラビア数字で示した。生物群集区分の各タイプ(丸数字)が何地点属するかも併せて示した(カッコ内・分子。分母は各タイプの総地点数)。

* 1 : 東京湾の最奥部(江東区-品川区)の海域に流入する河川の汽水域。

* 2 : 江戸川, 中川, 荒川, 隅田川, 多摩川の本流。

* 3 : 生物群集区分⑥の中で、水質測定結果が最も悪かった3地点がここに区分された。

